

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-053912

(43)Date of publication of application : 25.02.1997

(51)Int.Cl.

G01B 11/00

G01B 9/02

G01H 9/00

(21)Application number : 07-210704

(71)Applicant : AGENCY OF IND SCIENCE &amp; TECHNOL

(22)Date of filing : 18.08.1995

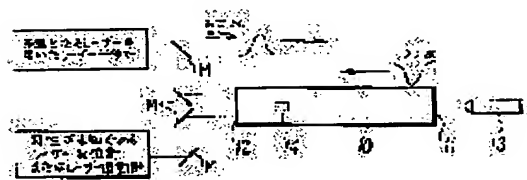
(72)Inventor : UMEDA AKIRA

(54) METHOD FOR MEASURING FREQUENCY CHARACTERISTICS OF LASER DISPLACEMENT GAUGE AND LASER VIBRATION METER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method for measuring frequency characteristics of laser displacement gauge and laser vibration meter by which a wider frequency range and smaller displacement can be coped with so as to improve the reliability of displacement measurement and vibration measurement.

SOLUTION: When an impact is given to one end face 11 of a metallic round bar 10, the elastic wave pulse propagated through the bar 10 generates pulse-like dynamic displacement of the other end face 12 of the bar 10 when the pulse is reflected by the end face 12. When the dynamic displacement of the end face 12 is simultaneously measured with a laser interferometer using a reference laser beam and a laser displacement gauge or laser vibration meter having an unknown frequency response characteristic and the measured results of the interferometer and displacement gauge or vibration meter are compared with each other, the frequency response characteristic of the displacement gauge or vibration meter can be found.



BEST AVAILABLE COPY

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

31.08.1995

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

2647815

[Date of registration]

09.05.1997

[Number of appeal against examiner's decision]

of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

**\* NOTICES \***

JPO and NCIP I are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

**CLAIMS**

---

**[Claim(s)]**

[Claim 1] As opposed to pulse dynamic displacement of the end face which it generates in case the elastic wave pulse which carries out propagation of the inside of the round bar by the impact added to one end face of the metal round bar reflects in respect of the other end of the round bar By performing measurement by the laser interferometer using the laser used as criteria, and measurement by the laser displacement gage with a strange frequency response characteristic, or the laser vibration meter to coincidence, and comparing both measurement result in a frequency domain The frequency-characteristics measuring method of the laser displacement gage and laser vibration meter characterized by searching for a frequency response characteristic.

[Claim 2] The elastic wave pulse which carries out propagation of the inside of the round bar by the impact added to one end face of the metal round bar Pulse dynamic displacement of the end face generated in case it reflects in respect of the other end of the round bar As opposed to the frequency characteristics drawn by comparing the result measured with the laser displacement gage with strange result and frequency response characteristic which were measured by the strain gauge stuck on the above-mentioned metal round bar, or the laser vibration meter in a frequency domain The frequency-characteristics measuring method of the laser displacement gage and laser vibration meter characterized by applying the correction function of the dynamic characteristics of the strain gauge obtained by the laser interferometer using the laser used as criteria, and searching for the frequency response characteristic of a laser displacement gage or a laser vibration meter.

[Claim 3] The frequency-characteristics measuring method of the laser displacement gage and the laser vibration meter characterized by to search for a frequency response characteristic by performing measurement by the laser interferometer using the laser used as criteria, and measurement by the laser displacement gage with a strange frequency response characteristic, or the laser vibration meter to coincidence to pulse dynamic displacement of the front face generated by impressing impulse voltage to the piezoelectric transducer which consists of a piezoelectric device or a piezoelectric film, and comparing both measurement result in a frequency domain.

[Claim 4] Minute displacement of the piezoelectric film side produced with the impulse voltage which prepares a piezoelectric film in the end face of a piezoelectric-device stack, and is impressed to a piezoelectric-device stack Measurement of a high-speed minute vibration generated in the piezoelectric film side performed using the laser interferometer by the laser which measures and serves as criteria using the phase correction value over the obtained measurement result with the laser interferometer using the laser used as criteria, When a frequency response characteristic measures to coincidence high-speed minute displacement generated in the piezoelectric film side by the strange laser displacement gage or the laser vibration meter and compares both measurement result in a frequency domain The frequency-characteristics measuring method of the laser displacement gage and laser vibration meter characterized by searching for a frequency response characteristic.

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

**DETAILED DESCRIPTION**

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the frequency-characteristics measuring method of the laser displacement gage and laser vibration meter widely used on industry. The result measured with the laser interferometer comparable as it when saying in more detail, as a result of this invention's measuring the dynamic variation rate generated using a high-speed new minute displacement generating technique with the laser interferometer used as criteria, It is related with the frequency-characteristics measuring method for aiming at establishment of the TOREZA kinky thread tee in measurement of high-speed minute displacement and minute vibration by comparing mutually the result measured with the laser displacement gage with a strange frequency, or the laser vibration meter.

[0002]

[Description of the Prior Art] By making optical interference based on a Doppler shift or heterodyne light interference into a principle, although widely used in the industrial world from the former, since the laser displacement gage and the laser vibration meter which measures a variation rate and vibration did not have a method of generating high-speed minute displacement over a large frequency range from the field near a dc component, it did not have a method of evaluating the dependability of these measuring instruments, and a probability.

[0003] On the other hand, in recent years, the need of measuring movement of the structure far minuter than before is increasing, and the frequency band for which measurement is needed is larger than before so that the development of a micro machine technique currently performed even in European and American advanced nations may see. Therefore, the demand to the dependability of measurement by the laser displacement gage and the laser vibration meter is severer. Consequently, the generating approach of high-speed new minute displacement and a high-speed minute vibration which the user and the measuring machine manufacturer did not have in the former is needed.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] The technical technical problem of this invention is the basis of such a situation, and in order to raise the dependability of displacement measurement and oscillating measurement, it is to offer the frequency-characteristics measuring method of a new laser displacement gage and laser vibration meter which can be corresponded to a larger frequency range and a minuter variation rate. The technical technical problem of still more concrete this invention does not only draw in the theory the frequency opposite region which can measure a laser displacement gage and a laser vibration meter based on the principle of a Doppler shift etc. The result of having measured the dynamic variation rate generated using a high-speed new minute displacement generating technique with the laser interferometer used as criteria, or the laser interferometer comparable as it, It is shown in aiming at establishment of the TOREZA kinky thread tee in measurement of high-speed minute displacement and minute vibration by comparing mutually the result measured with the laser displacement gage with a strange frequency, or the laser vibration meter.

[0005]

[The means for solving a technical problem, an operation] The frequency-characteristics measuring method of the 1st laser displacement gage and laser vibration meter of this invention for solving the above-mentioned technical problem As opposed to pulse dynamic displacement of the end face which it generates in case the elastic wave pulse which carries out propagation of the inside of the round bar by the impact added to one end face of the metal round bar reflects in respect of the other end of the round bar It is characterized by searching for a frequency response characteristic by performing measurement by the laser interferometer using the laser used as criteria, and measurement by the laser displacement gage with a strange frequency response characteristic, or the laser vibration meter to coincidence, and comparing both measurement result in a frequency domain.

[0006] When it is difficult to use the laser interferometer using the laser used as criteria in the above-mentioned frequency-characteristics measuring method, in an actual measurement site After evaluating the property of a laser displacement gage with a strange frequency response characteristic, or a laser vibration meter using the measurement result in the strain gauge stuck on the metal round bar, The correction function called for by measurement using the laser interferometer using the laser used as criteria is used. The frequency response characteristic of a laser displacement gage or a laser vibration meter can be searched for, and frequency-characteristics evaluation of the laser displacement gage in the same precision as measurement by the laser interferometer using the laser used as criteria or a laser vibration meter can be enabled.

[0007] Moreover, the frequency domain of dynamic displacement is hundreds of kHz. The 2nd frequency-characteristics measuring method of this invention suitable for applying, when it is above As opposed to pulse dynamic displacement of the front face generated by impressing impulse voltage to the piezoelectric transducer which consists of a piezoelectric device or a piezoelectric film It is characterized by searching for a frequency response characteristic by performing measurement by the laser interferometer using the laser used as criteria, and measurement by the laser displacement gage with a strange frequency response characteristic, or the laser vibration meter to coincidence, and comparing both measurement result in a frequency domain.

[0008] The 100kHz of furthermore, the above-mentioned numbers The 3rd frequency-characteristics measuring method of this invention applied suitably [ when impulse-the variation rate or amplitude which is a high frequency domain, and applies impulse voltage to a piezoelectric transducer and is obtained becomes smaller than the wavelength of laser ] Minute displacement of the piezoelectric film side produced with the impulse voltage which prepares a piezoelectric film in the end face of a piezoelectric-device stack, and is impressed to a piezoelectric-device stack Measurement of a high-speed minute vibration generated in the piezoelectric film side performed using the laser interferometer by the laser which measures and serves as criteria using the phase correction value over the obtained measurement result with the laser interferometer using the laser used as criteria, When a frequency response characteristic measures to coincidence high-speed minute displacement generated in the piezoelectric film side by the strange laser displacement gage or the laser vibration meter and compares both measurement result in a frequency domain, it is characterized by searching for a frequency response characteristic.

[0009]

[Embodiment of the Invention] Next, the gestalt of operation of this invention is explained to a detail with reference to a drawing. Drawing 1 and drawing 2 show the 1st operation gestalt of this invention. In order for frequency characteristics to clarify the frequency characteristics in a strange displacement gage or a strange vibration meter, it is necessary to compare with the result measured with the displacement gage or vibration meter used as criteria. Then, it is necessary how to make the large minute plane of vibration of a band.

[0010] In order to obtain such a plane of vibration, the other-end side 12 is made to generate pulse dynamic displacement in this example, by the elastic wave pulse which adds an impact with the means of making an airframe 13 collide with one end face 11 of that round bar 10 using the metal round bar 10 long enough as compared with a diameter etc., and is generated, as shown in

drawing 1 . Although this round bar 10 is not illustrated, it is supported with the bearing ball put on the V groove of two trains, and is not restrained by shaft orientations.

[0011] That is, if an airframe 13 is made to collide with one end face 11 of the round bar 10, an elastic wave pulse will occur inside the round bar. Although propagation of this pulse is carried out to the shaft orientations of the round bar 10 as a compressive elastic wave pulse, it is reflected when it arrives at the other-end side 12, and it returns in the direction of a basis as an elastic wave pulse of hauling, impulse dynamic displacement of a direction perpendicular to an end face 12 occurs in the process to reflect. Drawing 2 shows the situation of movement of the round bar end face 12, this drawing (a) shows the variation rate of this end face, and this drawing (b) shows the rate of this end face. In this case, if there is 15 or more-time die length to the diameter of a rod, it will be guaranteed that movement of the round bar end face 12 becomes uniform. Moreover, the frequency band of this dynamic displacement is hundreds of kHz from near a direct-current part. Although reached, since it is dependent on the quality of the material of the round bar, a diameter, and die length, this band can be set as arbitration by those selections.

[0012] Then, the mirror M which uses the beam of the laser interferometer by the laser used as criteria and the beam of a laser displacement gage or a laser vibrometer with a strange property if needed is minded. If an airframe 13 is made to collide with coincidence to an end face 11 towards an end face 12, the coincidence measurement to dynamic displacement of the same movement side using the laser interferometer by the laser used as criteria, a laser displacement gage with a strange property, or a laser vibration meter will become possible. Therefore, the frequency characteristics of a laser displacement gage with a strange frequency response characteristic or a laser vibration meter can be derived by comparing both measurement result in a frequency domain.

[0013] (1) of the following when the laser interferometer by the laser used as criteria searches for the frequency characteristics of a laser displacement gage with a strange property noting that it detects the rate of a movement side (end face 12 of the round bar 10) -- a formula -- being based -- frequency characteristics  $G_d(j\omega)$  of a laser displacement gage It asks.

[ namely, ]

[0014]

[Equation 1]

$$G_d(j\omega) = \frac{j\omega \cdot L [d_u(t)]}{L [v_d(t)]} \quad (1)$$

At this (1) type, L is a Laplace-transform operator and omega is angular frequency and  $du(t)$ . The displacement output of a laser displacement gage with a strange property, and  $vd(t)$  The rate measurement result in the laser interferometer by the laser used as criteria and t are time amount.

[0015] It is based on the following (2) types noting that a laser vibration meter, on the other hand, detects the velocity of vibration of a movement side, in measuring the frequency characteristics of a laser vibration meter with a strange property, and they are frequency characteristics  $G_v(j\omega)$ . It asks.

[Equation 2]

$$G_v(j\omega) = \frac{L [v_u(t)]}{L [v_d(t)]} \quad (2)$$

Here, it is  $vu(t)$ . It is the velocity output of a laser vibration meter with a strange property.

[0016] Moreover, when it is difficult to use the laser interferometer by the laser used as criteria like the actual site of measurement, as shown in drawing 1 , a strain gauge 14 can be stuck on the side face of the round bar 10, and the frequency characteristics of a laser displacement gage or a laser vibration meter can be searched for using the correction function in the frequency domain to the measurement result in the strain gauge based on the signal from this strain gauge 14 in the same precision as measurement by the laser interferometer using the laser used as

above-mentioned criteria.

[0017] That is, after evaluating the property of a laser displacement gage with a strange frequency response characteristic, or a vibration meter, in order to amend the distribution accompanying the propagation of an elastic wave etc., it becomes possible to perform characterization in the same precision as for the laser interferometer to have estimated frequency characteristics on the spot using the correction function called for by measurement using the laser interferometer by the laser used as criteria.

[0018] In this case, it is epsilon<sub>m</sub> about the output of the strain gauge 14 stuck on the side face of the round bar 10. If it carries out, from the 1-dimensional wave-motion theory, they are the variation rate  $\dot{\epsilon}_m$  of the end face 12 of the round bar 10, a rate  $v_e$ , and acceleration  $a_e$ . It asks by the following formulas.

[Equation 3]

$$\epsilon_e = 2 C \int \epsilon_m(t) dt \quad (3)$$

$$v_e = 2 C \dot{\epsilon}_m(t) \quad (4)$$

$$a_e = 2 C \ddot{\epsilon}_m(t) \quad (5)$$

Here, C is the propagation rate of the longitudinal-wave elastic wave transmitted in the inside of the round bar 10.

[0019] Then, frequency characteristics  $G_{v,e}$  of a vibration meter first based on the 1-dimensional wave-motion theory before amendment if a laser vibration meter shall detect the velocity of vibration on the front face of a body ( $j\omega$ ) It asks as follows.

[Equation 4]

$$G_{v,e}(j\omega) = \frac{L [\dot{v}_a(t)]}{L [2 C \epsilon_m(t - l/C)]} \quad (6)$$

Here, l is the distance from a strain gauge to a laser radiation end face.

[0020] However, the way things stand, since the distribution accompanying the indeterminacy of the dynamic trait of a strain gauge also including an amplifier, the indeterminacy of acoustic velocity, attenuation of an elastic wave, and the propagation of an elastic wave pulse etc. follows, it asks for a correction function like a degree type beforehand.

[Equation 5]

$$G_{e,s}(j\omega) = \frac{2 C L [\epsilon_m(t - l/C)]}{L [\dot{v}_a(t)]} \quad (7)$$

[0021] Then, final frequency characteristics are searched for as what multiplied (6) types and (7) types. That is, if it asks for the correction function expressed with (7) types with the laser interferometer using the laser which serves as criteria beforehand, the practical transfer standard about a laser vibration meter can be made by considering this data and the metal round bar which stuck the strain gauge as a set. What is necessary is just to consider displacement the same way.

[0022] Drawing 3 and drawing 4 show the 2nd operation gestalt of this invention. said 1st operation gestalt shown in drawing 1 -- a frequency band ---like -- an in one direction flowed part to hundreds of kHz up to -- although it can respond, in a frequency domain higher than it, it becomes impossible. Hundreds of kHz What is necessary is just to make the movement front face 22 generate pulse dynamic displacement using the piezoelectric transducer 20 which replaces with said metal round bar 10, and consists of a piezoelectric device like the example shown in drawing 3 by impressing the impulse voltage which is the output of a wave generator through amplifier to it, when impulse-the variation rate or the amplitude which is a high frequency domain, and applies impulse voltage to a piezoelectric device and is obtained becomes



smaller than the wavelength of laser. A piezoelectric film can also constitute the above-mentioned piezoelectric transducer 20.

[0023] And the mirror M which uses the beam of the laser interferometer by the laser used as criteria and the beam of a laser displacement gage or a laser vibrometer with a strange property if needed is minded. If the movement front face 22 is made to generate pulse dynamic displacement towards the movement front face 22 of a piezoelectric transducer 20 in coincidence The coincidence measurement to the dynamic displacement on the same front face of movement using the laser interferometer by the laser used as criteria, a laser displacement gage with a strange property, or a laser vibration meter becomes possible. However, since the band of a piezoelectric transducer is narrow, two or more piezoelectric transducers may be used depending on the dynamic range of system of measurement, and the frequency domain which is going to measure a property. The relation with the measurement result using a laser displacement gage with strange measurement result by the laser interferometer by the laser used as criteria to a plane of vibration and property or a laser vibration meter is calculated based on the formula explaining the 1st operation gestalt. Drawing 4 shows the situation of movement of the front face of a piezoelectric device.

[0024] Drawing 5 and drawing 6 show the 3rd operation gestalt of this invention. In a case so that the surface motion velocity or the surface dynamic variation rate of a piezo-electric thin film may be measured, while a frequency becomes high further, a variation rate or an amplitude may become smaller than the wavelength of laser. In such a case, a piezoelectric film 30 is set on the piezoelectric-device stack 31, a pulse-like electrical potential difference is first applied to a piezoelectric-device stack, and the piezoelectric film front face on which the beam from a laser vibrometer or a laser displacement gage is irradiated by elongation of a piezoelectric-device stack by the translational motion as the whole piezoelectric film is made to generate a dynamic variation rate, as shown in drawing 5 R> 5. It is easy to generate an interference fringe, since it is easy to make this variation rate larger than the wavelength of the laser light currently used for the laser displacement gage, and amendment data for this to read the phase inside striped are obtained.

[0025] And measurement by the laser interferometer by the laser with which the variation rate on the front face of a piezoelectric film by elongation of a stack applies a pulse-like electrical potential difference to a piezoelectric film, makes constant value generate high-speed minute displacement, and serves as criteria at it at the \*\*\*\*\* time, and measurement by the laser displacement gage with a strange property are performed to coincidence. Amendment obtained with elongation of a stack can be performed to the measurement result by the former, and a variation rate smaller than laser wavelength can be read. If the measurement result by the laser interferometer by the laser used as the criteria read now is compared with the measurement result by the laser displacement gage with a strange property in a frequency domain based on (1) type, it will become possible to clarify the frequency characteristics of the laser displacement gage whose property was strange. It is the same also about a laser vibration meter. What is necessary is to generate such rate change and just to consider as the phase correction data for the rate measurement of a piezoelectric film with elongation of a stack, when the light and darkness generated by rate change of a film surface are not equivalent to a part for one fringe. Drawing 6 shows the situation of movement of the front face of a piezoelectric device.

[0026] drawing 7 -- above-mentioned the 1- the configuration of the laser interferometer used in the 3rd operation gestalt is shown. Theoretically, although this interferometer is the Michelson mold which detects a Doppler shift Since 90-degree phase contrast is set as that interference of P deviation component and interference of S deviation component have been independent, P deviation, and S deviation as a description Change of the direction of a rate being detectable and fringe counting are not carried out, but all interference signals are changed by the photodetector, it records by the transient recorder, and having taken the method analyzed after experiment termination etc. is mentioned. The light source is an Ar ion laser. In addition, for a lens and M, a mirror and PD are [ L / a half mirror and BM of a photodiode and HM ] beam splitters among drawing.

[0027]

[Effect of the Invention] In order that this invention explained in full detail above may raise the dependability of displacement measurement and oscillating measurement It is what offers the frequency-characteristics measuring method of the new laser displacement gage and laser vibration meter which can be corresponded to a larger frequency range and a minuter variation rate. By this The dependability as a result of measurement with these measuring machine machine that has appeared on the market in the commercial scene can be raised, and it is very effective in establishment of the TOREZA kinky thread tee of a laser displacement gage and a laser vibrometer to coincidence.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

## DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

### [Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is a block block diagram for explaining that of the 1st operation gestalt of this invention.

[Drawing 2] (a) And (b) is a graph which shows the situation of movement of the round bar end face of drawing 1 .

[Drawing 3] It is a block block diagram for explaining that of the 2nd operation gestalt of this invention.

[Drawing 4] The situation of movement of the front face of the piezoelectric device in drawing 3 is shown.

[Drawing 5] It is a block block diagram for explaining that of the 3rd operation gestalt of this invention.

[Drawing 6] The situation of movement of the front face of the piezoelectric device in drawing 5 is shown.

[Drawing 7] above-mentioned the 1- it is the block block diagram of the laser interferometer used in the 3rd operation gestalt.

### [Description of Notations]

10 Metal Round Bar

11 12 End face

14 Strain Gauge

20 Piezoelectric Transducer

22 Movement Front Face

30 Piezoelectric Film

31 Piezoelectric-Device Stack

---

[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-53912

(43) 公開日 平成9年(1997)2月25日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 B 11/00			G 0 1 B 11/00	G
			9/02	
G 0 1 H 9/00			G 0 1 H 9/00	C

審査請求 有 請求項の数4 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平7-210704

(22) 出願日 平成7年(1995)8月18日

(71) 出願人 000001144

工業技術院長

東京都千代田区霞が関1丁目3番1号

(72) 発明者 梅田 章

茨城県つくば市梅園1丁目1番4 工業技術院計量研究所内

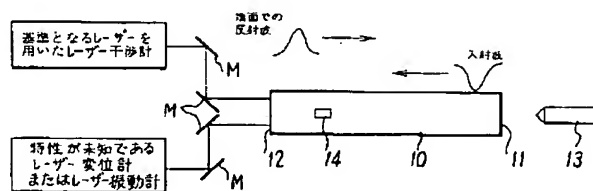
(74) 指定代理人 工業技術院計量研究所長

(54) 【発明の名称】 レーザー変位計・レーザー振動計の周波数特性測定法

(57) 【要約】

【課題】 変位計測、振動計測の信頼性を高めるために、より広い周波数範囲とより微小な変位に対して対応することが可能な新しいレーザー変位計・レーザー振動計の周波数特性測定法を提供する。

【解決手段】 金属丸棒10の一方の端面11に衝撃を加えると、その丸棒中を伝ばする弾性波パルスが、丸棒の他方の端面12で反射する際に端面のパルスの動的変位を発生する。この動的変位に対して、基準となるレーザーを用いたレーザー干渉計による測定と、周波数応答特性が未知であるレーザー変位計またはレーザー振動計による測定を同時に行い、両者の測定結果を周波数領域で比較することによって、周波数応答特性を求める。



BEST AVAILABLE COPY

**【特許請求の範囲】**

【請求項 1】金属丸棒の一方の端面に加えた衝撃によりその丸棒中を伝ばする弾性波パルスが、丸棒の他方の端面で反射する際に発生する端面のパルスの動的変位に対して、基準となるレーザーを用いたレーザー干渉計による測定と、周波数応答特性が未知であるレーザー変位計またはレーザー振動計による測定を同時に行い、両者の測定結果を周波数領域で比較することによって、周波数応答特性を求めることを特徴とするレーザー変位計・レーザー振動計の周波数特性測定法。

【請求項 2】金属丸棒の一方の端面に加えた衝撃によりその丸棒中を伝ばする弾性波パルスが、丸棒の他方の端面で反射する際に発生する端面のパルスの動的変位を、上記金属丸棒に貼ったひずみゲージで計測した結果と周波数応答特性が未知であるレーザー変位計またはレーザー振動計で測定した結果を周波数領域で比較することにより導かれる周波数特性に対して、基準となるレーザーを用いたレーザー干渉計により得られるひずみゲージの動特性の補正関数を適用して、レーザー変位計またはレーザー振動計の周波数応答特性を求めることを特徴とするレーザー変位計・レーザー振動計の周波数特性測定法。

【請求項 3】圧電素子もしくは圧電膜からなる圧電振動子にインパルス電圧を印加することによって発生するその表面のパルスの動的変位に対して、基準となるレーザーを用いたレーザー干渉計による測定と、周波数応答特性が未知であるレーザー変位計またはレーザー振動計による測定を同時に行い、両者の測定結果を周波数領域で比較することによって、周波数応答特性を求めることを特徴とするレーザー変位計・レーザー振動計の周波数特性測定法。

【請求項 4】圧電素子スタックの端面に圧電膜を設けて、圧電素子スタックに対して印加するインパルス電圧によって生じる圧電膜面の微小変位を、基準となるレーザーを用いたレーザー干渉計で測定し、得られた測定結果に対する位相補正値を用いて、基準となるレーザーによるレーザー干渉計を用いて行う圧電膜面に発生する高速微小振動の測定と、周波数応答特性が未知であるレーザー変位計またはレーザー振動計による圧電膜面に発生する高速微小変位の測定を同時に行い、両者の測定結果を周波数領域で比較することによって、周波数応答特性を求めることを特徴とするレーザー変位計・レーザー振動計の周波数特性測定法。

**【発明の詳細な説明】****【0001】**

【発明の属する技術分野】本発明は、産業上広く用いられているレーザー変位計・レーザー振動計の周波数特性測定法に関するものである。さらに詳しく言えば、本発明は、新しい高速微小変位発生技術を用いて発生させた動的な変位を、基準となるレーザー干渉計で計測した結

果またはそれと同程度のレーザー干渉計で計測した結果と、周波数が未知であるレーザー変位計ないしはレーザー振動計で計測した結果とを、相互に比較することによって、高速微小変位、微小振動の計測におけるトレーザビリティの確立を図るための周波数特性測定法に関するものである。

**【0002】**

【従来の技術】ドップラーシフトやヘテロダイン光干渉にもとづく光干渉を原理として、変位や振動を測定するレーザー変位計・レーザー振動計は、従来から産業界で広く用いられてきているが、高速微小変位を直流成分に近い領域から広い周波数範囲にわたって発生させる方法がなかったため、それら計測器の信頼性、確からしさを評価する方法がなかった。

【0003】一方、近年では、欧米先進諸国でも行われているマイクロマシン技術の開発に見られるように、従来よりもはるかに微小な構造物の運動を測定する必要性が高まっており、計測が必要となる周波数帯域は従来よりも広がっている。したがって、レーザー変位計・レーザー振動計による計測の信頼性に対する要求はより厳しくなっている。その結果、ユーザ、計測機器メーカーは、従来にはなかった新しい高速微小変位、高速微小振動の発生方法が必要になっている。

**【0004】**

【発明が解決しようとする課題】本発明の技術的課題は、このような事情のもとで、変位計測、振動計測の信頼性を高めるために、より広い周波数範囲とより微小な変位に対して対応することが可能な、新しいレーザー変位計・レーザー振動計の周波数特性測定法を提供することにある。さらに具体的な本発明の技術的課題は、レーザー変位計・レーザー振動計の計測可能な周波数対域を、ドップラーシフトの原理などにもとづいて単に理論で導くのではなく、新しい高速微小変位発生技術を用いて発生させた動的な変位を、基準となるレーザー干渉計またはそれと同程度のレーザー干渉計で計測した結果と、周波数が未知であるレーザー変位計ないしはレーザー振動計で計測した結果とを、相互に比較することによって、高速微小変位、微小振動の計測におけるトレーザビリティの確立を図ることにある。

**【0005】**

【課題を解決するための手段、作用】上記課題を解決するための本発明の第 1 のレーザー変位計・レーザー振動計の周波数特性測定法は、金属丸棒の一方の端面に加えた衝撃によりその丸棒中を伝ばする弾性波パルスが、丸棒の他方の端面で反射する際に発生する端面のパルスの動的変位に対して、基準となるレーザーを用いたレーザー干渉計による測定と、周波数応答特性が未知であるレーザー変位計またはレーザー振動計による測定を同時に行い、両者の測定結果を周波数領域で比較することによって、周波数応答特性を求めることを特徴とするもの

である。

【0006】上記周波数特性測定法において、基準となるレーザーを用いたレーザー干渉計を用いることが困難な場合、即ち実際の測定現場では、金属丸棒に貼ったひずみゲージでの計測結果を用いて、周波数応答特性が未知であるレーザー変位計またはレーザー振動計の特性を評価した後、基準となるレーザーを用いたレーザー干渉計を用いた測定により求められる補正関数を用いて、レーザー変位計またはレーザー振動計の周波数応答特性を求め、基準となるレーザーを用いたレーザー干渉計による測定と同じ精度でのレーザー変位計またはレーザー振動計の周波数特性評価を可能にすることができる。

【0007】また、動的変位の周波数領域が数百kHz 以上の場合に適用するのに適した本発明の第2の周波数特性測定法は、圧電素子もしくは圧電膜からなる圧電振動子にインパルス電圧を印加することによって発生するその表面のパルス的な動的変位に対して、基準となるレーザーを用いたレーザー干渉計による測定と、周波数応答特性が未知であるレーザー変位計またはレーザー振動計による測定を同時に行い、両者の測定結果を周波数領域で比較することによって、周波数応答特性を求めることを特徴とするものである。

【0008】さらに、上記数百kHz よりも高い周波数領域で、かつ圧電振動子にインパルス電圧を加えて得られるインパルス的な変位あるいは振動振幅がレーザーの波長よりも小さくなる場合に好適に適用される本発明の第3の周波数特性測定法は、圧電素子スタックの端面に圧電膜を設けて、圧電素子スタックに対して印加するインパルス電圧によって生じる圧電膜面の微小変位を、基準となるレーザーを用いたレーザー干渉計で測定し、得られた測定結果に対する位相補正值を用いて、基準となるレーザーによるレーザー干渉計を用いて行う圧電膜面に発生する高速微小振動の測定と、周波数応答特性が未知であるレーザー変位計またはレーザー振動計による圧電膜面に発生する高速微小変位の測定を同時に行い、両者の測定結果を周波数領域で比較することによって、周波数応答特性を求めることを特徴とするものである。

【0009】

【発明の実施の形態】次に、図面を参照して本発明の実施の形態について詳細に説明する。図1及び図2は、本発明の第1の実施形態を示している。周波数特性が未知である変位計あるいは振動計において、その周波数特性を明らかにするためには、基準となる変位計もしくは振動計で測定した結果と比較する必要がある。そこで必要

$$G_d(j\omega) = \frac{j\omega \cdot L[d_u(t)]}{L[v_d(t)]} \quad (1)$$

この(1)式で、Lはラプラス変換演算子、 $\omega$ は角周波数、 $d_u(t)$ は特性が未知であるレーザー変位計の変位出力、 $v_d(t)$ は基準となるレーザーによるレーザー干

渉計での速度測定結果、 $t$ は時間である。

【0010】このような振動面を得るため、この例では、図1に示すように、直径に比較して十分に長い金属丸棒10を用い、その丸棒10の一方の端面11に飛翔体13を衝突させるなどの手段により衝撃を加え、発生する弾性波パルスにより他方の端面12にパルス的な動的変位を発生させる。この丸棒10は、図示していないが、2列のV溝に置かれたベアリング球で支持され、軸方向には拘束されていないものである。

【0011】即ち、丸棒10の一方の端面11に飛翔体13を衝突させると、丸棒内部に弾性波パルスが発生する。このパルスは、圧縮の弾性波パルスとして丸棒10の軸方向に伝ばし、他方の端面12に到達した時点で反射し、引っ張りの弾性波パルスとしてもとの方向に戻っていくが、反射する過程で端面12に垂直な方向のインパルス的な動的変位が発生する。図2は、丸棒端面12の運動の様子を示すもので、同図(a)は同端面の変位を、同図(b)は同端面の速度を示している。この場合、棒の直径に対して長さが15倍以上あれば、丸棒端面12の運動は一樣になることが保証される。また、この動的変位の周波数帯域は、直流分付近から数百kHzにまで及ぶが、この帯域は、丸棒の材質、直径、長さに依存するので、それらの選択により任意に設定することができる。

【0012】そこで、基準となるレーザーによるレーザー干渉計のビームと、特性が未知であるレーザー変位計もしくはレーザー振動計のビームとを、必要に応じて用いるミラーMを介して、同時に端面12に向けておいて、端面11に飛翔体13を衝突させれば、基準となるレーザーによるレーザー干渉計と、特性が未知であるレーザー変位計もしくはレーザー振動計を用いた同一の運動面の動的変位に対する同時測定が可能になる。そのため、両者の測定結果を周波数領域で比較することによって、周波数応答特性が未知であるレーザー変位計もしくはレーザー振動計の周波数特性を導出することができる。

【0013】即ち、基準となるレーザーによるレーザー干渉計が、運動面(丸棒10の端面12)の速度を検出するとして、特性が未知であるレーザー変位計の周波数特性を求める場合には、以下の(1)式にもとづいて、レーザー変位計の周波数特性 $G_d(j\omega)$ が求められる。

【0014】

【数1】

渉計での速度測定結果、 $t$ は時間である。

【0015】一方、特性が未知であるレーザー振動計の周波数特性を測定する場合には、レーザー振動計が運動

面の振動速度を検出するとして、以下の(2)式にもとづいて周波数特性 $G_v(j\omega)$ が求められる。

【数2】

$$G_v(j\omega) = \frac{L[v_u(t)]}{L[v_d(t)]} \quad (2)$$

ここで、 $v_u(t)$ は特性が未知であるレーザー振動計の速度出力である。

【0016】また、実際の計測の現場のように、基準となるレーザーによるレーザー干渉計を用いることが困難な場合には、図1に示すように丸棒10の側面にひずみゲージ14を貼り付け、このひずみゲージ14からの信号に基づくひずみゲージでの計測結果に対する周波数領域での補正関数を用いて、上述の基準となるレーザーを用いたレーザー干渉計による測定と同じ精度で、レーザー変位計またはレーザー振動計の周波数特性を求めることができる。

【0017】即ち、周波数応答特性が未知であるレーザ

$$d_e = 2C \int \epsilon_m(t) dt \quad (3)$$

$$v_e = 2C \epsilon_m(t) \quad (4)$$

$$a_e = 2C \dot{\epsilon}_m(t) \quad (5)$$

ここで、 $C$ は丸棒10中を伝わる縦波弾性波の伝ば速度である。

【0019】そこで、レーザー振動計が物体表面の振動速度を検出するものとする、まず補正前の1次元波動

$$G_{v1e}(j\omega) = \frac{L[v_u(t)]}{L[2C\epsilon_m(t-1/C)]} \quad (6)$$

ここで、 $1$ はひずみゲージからレーザ照射端面までの距離である。

【0020】但し、このままでは、増幅器も含めてのひずみゲージの動的特性の不確定性、音速の不確定性、弾

一変位計や振動計の特性を評価した後、弾性波の伝ばに伴う分散等を補正するために、基準となるレーザーによるレーザー干渉計を用いた計測によって求められる補正関数を用い、レーザー干渉計で周波数特性を評価したのと同じ精度での特性評価を、現場で行う事が可能になる。

【0018】この場合、丸棒10の側面に貼り付けたひずみゲージ14の出力を $\epsilon_m$ とすると、1次元波動理論からは、丸棒10の端面12の変位 $d_e$ 、速度 $v_e$ 、加速度 $a_e$ が以下の式で求められる。

【数3】

理論にもとづいての振動計の周波数特性 $G_{v1e}(j\omega)$ は、以下のように求められる。

【数4】

性波の減衰、弾性波パルスの伝ばに伴う分散などが伴うので、次式の様な補正関数をあらかじめ求めておく。

【数5】

$$G_{cs}(j\omega) = \frac{2CL[\epsilon_m(t-1/C)]}{L[v_d(t)]} \quad (7)$$

【0021】そこで、最終的な周波数特性は、(6)式と(7)式を掛け合わせたものとして求められる。即ち、(7)式で表される補正関数をあらかじめ基準となるレーザーを用いたレーザー干渉計で求めておけば、このデータとひずみゲージを貼り付けた金属丸棒とをセットとして、レーザー振動計に関する実用上のトランスファ・スタンダードが作れることになる。変位についても、同様に考えればよい。

【0022】図3及び図4は、本発明の第2の実施形態を示している。図1に示す前記第1の実施形態では、周波数帯域的には直流分から数百kHzまで対応できるが、それよりも高い周波数領域では無理になる。数百kHzより

りも高い周波数領域で、かつ圧電素子にインパルス電圧を加えて得られるインパルスの変位あるいは振動振幅が、レーザーの波長よりも小さくなる場合には、図3に示す例のように、前記金属丸棒10に代えて圧電素子からなる圧電振動子20を用い、それに対して波形発生装置の出力であるインパルス電圧を増幅器を介して印加することにより、その運動表面22にパルスの動的変位を発生させればよい。上記圧電振動子20は、圧電膜により構成することもできる。

【0023】そして、基準となるレーザーによるレーザー干渉計のビームと、特性が未知であるレーザー変位計もしくはレーザー振動計のビームとを、必要に応じて用

いるミラーMを介して、同時に圧電振動子20の運動表面22に向けておき、その運動表面22にパルスの動的変位を発生させれば、基準となるレーザーによるレーザー干渉計と、特性が未知であるレーザー変位計もしくはレーザー振動計を用いた同一の運動表面の動的変位に対する同時測定が可能になる。但し、圧電振動子の帯域は狭いので、測定系のダイナミックレンジと、特性を測定しようとする周波数領域によっては、複数の圧電振動子を用いる場合もある。振動面に対する、基準となるレーザーによるレーザー干渉計による測定結果、特性が未知であるレーザー変位計もしくはレーザー振動計を用いての測定結果との関係は、第1の実施形態について説明した数式に基づいて計算される。図4は、圧電素子の表面の運動の様子を示すものである。

【0024】図5及び図6は、本発明の第3の実施形態を示している。圧電薄膜の表面の運動速度あるいは動的な変位を測定するような場合では、さらに周波数が高くなると同時に、変位もしくは振動振幅がレーザーの波長よりも小さくなる場合がある。このような場合には、図5に示すように、圧電膜30を圧電素子スタック31上にセットし、まず最初は圧電素子スタックにパルス状の電圧を加えて、圧電素子スタックの伸張により、圧電膜の全体としての並進運動によってレーザー振動計もしくはレーザー変位計からのビームが照射される圧電膜表面に動的な変位を発生させる。この変位をレーザー変位計に使われているレーザー光の波長よりも大きくすることは容易であるから、干渉縞を発生させることも容易であり、これにより縞の内部の位相を読むための補正データが得られる。

【0025】そして、スタックの伸張による圧電膜表面の変位が一定値に留った時点で、圧電膜にパルス状電圧を加えて高速微小変位を発生させ、基準となるレーザーによるレーザー干渉計による測定と、特性が未知であるレーザー変位計による測定とを同時に行う。前者による測定結果に対しては、スタックの伸張により得られている補正を行って、レーザー波長より小さい変位を読み取ることができる。これで読み取った基準となるレーザーによるレーザー干渉計による測定結果と、特性が未知であるレーザー変位計による測定結果とを、(1)式にもとづいて周波数領域で比較すれば、特性が未知であったレーザー変位計の周波数特性を明らかにすることが可能になる。レーザー振動計に関しても同様である。膜面の速度変化によって発生する明暗が1フリンジ分に相当しない場合には、スタックの伸張によってそのような速度変化を発生させておいて、圧電膜の速度測定のための位相補正データとすれば良い。図6は、圧電素子の表面の

運動の様子を示すものである。

【0026】図7は、上記第1～第3の実施形態において用いているレーザー干渉計の構成を示すものである。この干渉計は、原理的にはドップラーシフトを検出するマイケルソン型であるが、特徴としては、P偏向成分の干渉とS偏向成分の干渉が独立していること、P偏向とS偏向に90°の位相差を設定してあるので、速度の方向の変化を検出することができること、フリンジカウンティングをせず干渉信号を全てフォトデテクタで変換して、トランジェントレコーダで記録し、実験終了後に解析する方式を採っていること、などが挙げられる。光源は、アルゴンイオンレーザーである。なお、図中、Lはレンズ、Mはミラー、PDはフォトダイオード、HMIはハーフミラー、BMはビームスプリッターである。

【0027】

【発明の効果】以上に詳述した本発明は、変位計測、振動計測の信頼性を高めるために、より広い周波数範囲とより微小な変位に対して対応することが可能な新しいレーザー変位計・レーザー振動計の周波数特性測定法を提供するものであり、これによって、市場に出回っているそれら計測機器による計測の結果の信頼性を向上させることができ、同時に、レーザー変位計・レーザー振動計のトレーザビリティの確立に極めて有効なものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態のを説明するためのブロック構成図である。

【図2】(a)及び(b)は、図1の丸棒端面の運動の様子を示すグラフである。

【図3】本発明の第2の実施形態のを説明するためのブロック構成図である。

【図4】図3における圧電素子の表面の運動の様子を示すものである。

【図5】本発明の第3の実施形態のを説明するためのブロック構成図である。

【図6】図5における圧電素子の表面の運動の様子を示すものである。

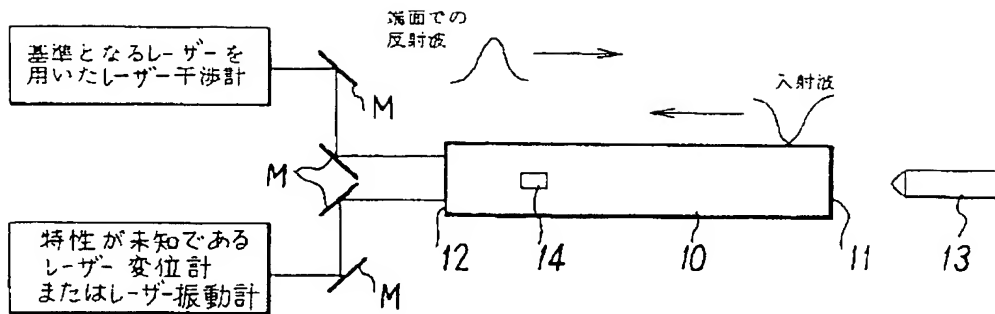
【図7】上記第1～第3の実施形態において用いているレーザー干渉計のブロック構成図である。

【符号の説明】

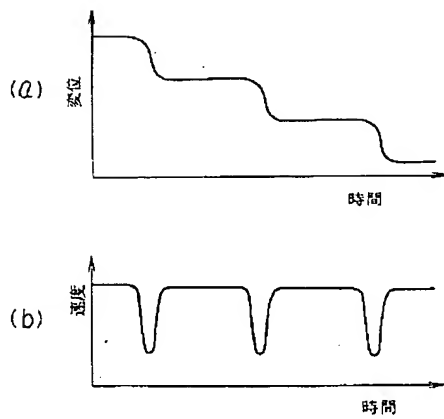
10	金属丸棒
11, 12	端面
14	ひずみゲージ
20	圧電振動子
22	運動表面
30	圧電膜
31	圧電素子スタック



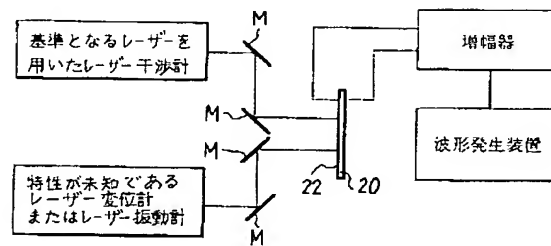
【図1】



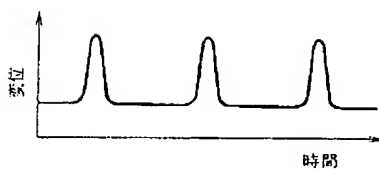
【図2】



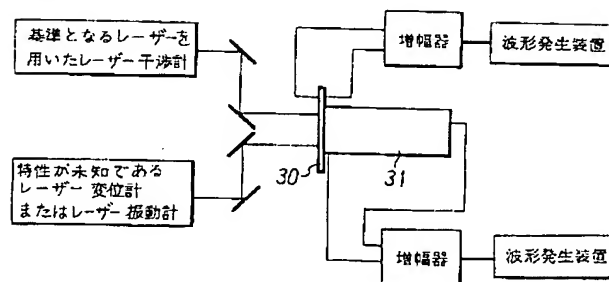
【図3】



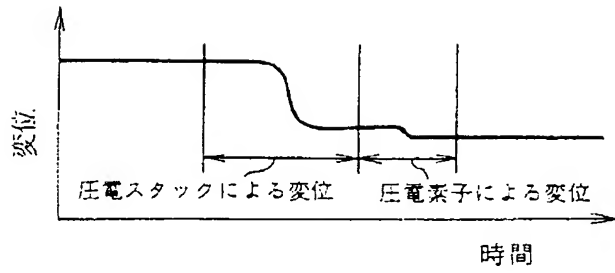
【図4】



【図5】



【図6】



【図7】

